

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΝΕΟΥ ΕΘΝΙΚΟΥ ΟΔΙΚΟΥ ΑΞΟΝΑ ΚΟΖΑΝΗΣ - ΛΑΡΙΣΑΣ (ΤΜΗΜΑ ΚΟΖΑΝΗ - ΡΥΜΝΙΟ)*

Β. ΧΡΗΣΤΑΡΑΣ¹, Δ. ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ², Σ. ΠΑΥΛΙΔΗΣ³, Θ. ΜΑΚΕΔΩΝ⁴,
Ν. ΖΟΥΡΟΣ⁵, Α. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ⁶, Α. ΧΑΤΖΗΠΕΤΡΟΥ⁶

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της έρευνας αναγνώρισης και αξιολόγησης των τεχνικογεωλογικών και τεκτονικών συνθηκών στην ευρύτερη περιοχή διέλευσης της χάραξης του εθνικού οδικού άξονα Κοζάνης - Λάρισας, στο τμήμα από Κοζάνη έως Ρύμνιο. Επίσης παρουσιάζονται τα προβλήματα αστοχιών που προκλήθηκαν τελικά κατά την κατασκευή της οδού και αναλύονται οι συνθήκες ευστάθειας σε χαρακτηριστικές θέσεις κατά μήκος της χάραξης.

ABSTRACT

The present paper presents the results of the investigation and evaluation of the engineering geological and tectonic conditions along the new national road Kozani - Larisa (section from Kozani to Rimnio). These results and the predicted stability problems are classified according to their origin and related to the failure phenomena that occurred during the road construction.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: κατολίσθηση, ευστάθεια πρανών, τεκτονική, ιδιότητες εδαφών, οδοποιία.

KEY WORDS: landslide; slope stability; tectonics; soil properties; road construction.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η επλόνηση της παρούσας εργασίας έγινε με βάση τα αποτελέσματα ερευνητικού προγράμματος που περιέλαβε γεωλογική χαρτογράφηση, αξιολόγηση τεκτονικών και σεισμοτεκτονικών δομών, ερμηνεία αεροφωτογραφιών, προσδιορισμό φυσικομηχανικών χαρακτηριστικών των σχηματισμών και ανάλυση ευστάθειας τεχνητών πρανών. Το ερευνητικό πρόγραμμα ανατέθηκε και χρηματοδοτήθηκε από το ΥΠΕΧΩΔΕ, το 1996, μετά από τον καταστροφικό σεισμό της 13-5-95 στην περιοχή.

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Η διερεύνηση των προβλημάτων ευστάθειας που απασχόλησαν την παρούσα έρευνα, αφορούσε τις θέσεις κατασκευής των τεχνικών έργων, αλλά και τις θέσεις των τεχνητών πρανών, ιδιαίτερα των υψηλών, όπου αυτά προβλεπόταν από την αρχική μελέτη οδοποιίας. Στα υπόλοιπα τμήματα της οδού,

* **ENGINEERING GEOLOGICAL PROBLEMS IN THE CONSTRUCTION OF THE NEW NATIONAL ROAD KOZANI - LARISA (SECTION KOZANI - RYMNIO).**

¹ Αν. Καθ. Τεχνικής Γεωλογίας, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ. 540 06 Θεσ/νίκη

² Καθ. Τεκτονικής, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ. 540 06 Θεσ/νίκη

³ Αν. Καθ. Νεοτεκτονικής, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ. 540 06, Θεσ/νίκη

⁴ Δρ. Γεωλόγος Ph.D, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ. 540 06, Θεσ/νίκη

⁵ Δρ. Γεωλόγος Ph.D., Μουσείο Φυσ. Ιστορίας Λέσβου, Σίγρι Λέσβου

⁶ Γεωλόγος, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ. 540 06, Θεσ/νίκη

θα μπορούσαν να εμφανιστούν προβλήματα που κυρίως συνδέονται με πιθανές **καθιζήσεις ή αστοχίες** των επιχωμάτων της οδού.

Η πρώτη περίπτωση συσχετίζεται κυρίως με τις σημαντικές τεκτονικές δομές (ρήγματα, διακλάσεις), οι οποίες, κατά θέσεις, τέμνουν τη χάραξη. Η παρουσία αυτών των τεκτονικών στοιχείων, σε συνδυασμό με τα φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά των συνεκτικών και χαλαρών πετρωμάτων, μπορεί να επηρεάσει άμεσα τα τεχνικά έργα (γέφυρες κ.α.) με αστοχία, έμμεσα δε τα τεχνητά τριανή με τη δημιουργία ασταθών μαζών (κατολισθήσεων, βραχοσφηνών).

Η δεύτερη περίπτωση, συσχετίζεται κυρίως με τα φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών της περιοχής του έργου, αλλά και με την παρουσία σημαντικών ρηγμάτων ή διαρροήξεων, ιδιαίτερα αυτών που πιθανόν να συνδέονται με σεισμική δραστηριότητα.

Έτσι, εκτός από τη λεπτομερή χαρτογράφηση και **επεξεργασία** των τεκτονικών στοιχείων της περιοχής του έργου, η έρευνα περιέλαβε και λεπτομερή **χαρακτηρισμό** των γεωλογικών σχηματισμών και αξιολόγηση των φυσικομηχανικών χαρακτηριστικών τους (USAF 1953).

3. ΓΕΩΛΟΓΙΑ - ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΧΑΡΑΞΗΣ

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στη λεκάνη Κοζάνης - Σερβίων, η οποία γεωλογικά ανήκει στην Πελαγονική ζώνη (Μουντράκης 1983).

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που συγκροτούν την λεκάνη Κοζάνης- Σερβίων είναι τα πετρώματα του Αλπικού υποβάθρου, τα πλειοκαινικά - πλειστοκαινικά λιμναία ιζημάτα και οι νεότερες ανωπλειστοκαινικές - ολοκαινικές χερσαίες αποθέσεις (Εικόνα 1).

Οι πλειο-πλειστοκαινικές αποθέσεις καλύπτουν το μεγαλύτερο τμήμα της χάραξης και αποτελούν ηπειρωτικές λιμναίες - ποταμολιμναίες αποθέσεις οι οποίες κατά θέσεις στο νότιο τμήμα της λεκάνης στην περιοχή της λίμνης Πολυφύτου ξεπερνούν σε πάχος τα 500m, ενώ προς τα βόρεια στην περιοχή της πόλης της Κοζάνης το πάχος τους περιορίζεται σε 0-10 m. Λιθολογικά, αποτελούνται από εναλλαγές αργιλοαμμώδων και αργιλομαργαλιτών ιζημάτων με αργίλους, άμμιους, λεπτόκοκκους ημισυνεκτικούς ψαμμίτες, ψηφιδωπαγή, αμμώδεις μάργες με διασταυρούμενη στρώση, συνεκτικούς μαργαλιτούς ασβεστόλιθους, τριβερτινοειδείς ασβεστόλιθους και διατομίτες. Η ηλικία τους θεωρείται Μέσου Πλειοκαινού έως Κατωτέρου Πλειστοκαινού.

Πάνω στις πλειο-πλειστοκαινικές αποθέσεις αποτέθηκαν κατά θέσεις νεότερα υλικά ηλικίας ανωτέρου Πλειστοκαινού - Ολοκαινού, κυρίως κώνιοι κορημάτων διαφόρων γενεών, υλικά ποτάμιων αναβαθμίδων και σύγχρονες αλλοιψιακές προσχώσεις.

Στην ευρύτερη περιοχή της δυτικής Μακεδονίας, καταγράφησαν δύο κύριες φάσεις της νεοτεκτονικής (μεταλπικής) παραμόρφωσης (Παυλίδης 1985, Pavlides & Mountrakis, 1987). Και οι δύο ήταν εφελκυστικές με την πρώτη του Ανωτέρου Μειοκαινού - Πλειοκαινού να έχει διεύθυνση εφελκυσμού ΒΑ-ΝΔ, ενώ αυτή του Τεταρογενούς ΒΑ-ΝΑ. Στην περιοχή της χάραξης οι τεκτονικές δομές που παρατηρούνται αφορούν κανονικά ρήγματα τα οποία μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο ομάδες με επικρατούσες διεύθνοσεις, η πρώτη την ΒΑ-ΝΔ και η δεύτερη την ΒΒΔ-ΝΝΑ αντίστοιχα.

Η γενική διάταξη των στρωμάτων των πλειο-πλειστοκαινικών λιμναίων ιζημάτων κατά μήκος της χάραξης είναι είτε οριζόντια είτε σπινθηρότερα με κλίση 5° έως 10° προς ΝΝΑ, λόγω κυρίως τεκτονικών αιτιών και συγκεκριμένα λόγω διαδοχικών ρηγμάτων ΑΒΑ-ΑΝΑ διεύθυνσης και κλίσης προς ΝΝΑ. Τιμές κλίσης που ξεπερνούν τις 10° - 20° και φτάνουν μέχρι 50° παρουσιάζονται σε στρώματα στην βόρεια πλευρά της λίμνης Πολυφύτου. Το γεγονός αυτό μπορεί να σχετίζεται με την δράση του ρήγματος του Αγίου Νικολάου που φαίνεται να αποτελεί στην πραγματικότητα μια ευρεία ρηξιγενή ζώνη με διεύθυνση ΒΑ-ΝΑ, που επεκτείνεται και ανατολικότερα του χωριού Καισάρεια, αλλά και στην προϋπαρξή ρηγμάτων ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης στην περιοχή που προκαλούν τοπικά την αναδίπλωση των αργιλικών στρωμάτων. Επίσης μεγάλες κλίσεις των λιμναίων ιζημάτων με αρραία τιμή τις 60° προς ΑΒΑ παρατηρούνται σε θέσεις δυτικά του χωριού Κήπος.

Τα σημαντικότερα ρέματα στην περιοχή της χάραξης ρέουν σε κοιλάδες ΒΑ-ΝΑ έως ΒΒΑ-ΝΝΑ διάταξης με διεύθυνση ροής προς τα ΝΑ, και καταλήγουν στην λίμνη Πολυφύτου. Η συστηματική τους διάταξη κατά τη διεύθυνση αυτή δείχνει ότι συνδέονται ίσως με τεκτονικές γραμμές της ίδιας

Το ρήγμα του Αγίου Νικολάου οριοθετεί την επαφή των λιμναιών πλειστοκαινικών ιζημάτων και των ποταμογενιόρων πλειστοκαινικών αποθέσεων και η παρατάξη του έχει μετρηθεί από 30°-45°. Κατά μήκος του ρήγματος του Αγίου Νικολάου εμφανίσθηκαν μετά την διάνοιξη των προβλεπόμενων ορημάτων, φαινόμενα αστάθειας πηλών και δημιουργία κατολισθητικών φαινομένων.

Εκτός της ρηξιγενούς δομής του Αγίου Νικολάου ιδιαίτερα σημαντική επίσης χαρακτηρίζεται η ρηξιγενής ζώνη νεοτεκτονικών ρηγμάτων που εντοπίζεται νότια των χοριών Καρυδίτσας - Κρόκου - Πετρανών με ρήγματα ΔΒΑ-ΔΝΑ διεύθυνσης (50ο-80ο).

Οι διακλάσεις που παρατηρούνται στην περιοχή μελέτης έχουν και αυτές γενικά παρόμοιες παρατάξεις με τα ρήγματα τα οποία ήδη περιγράψαμε.

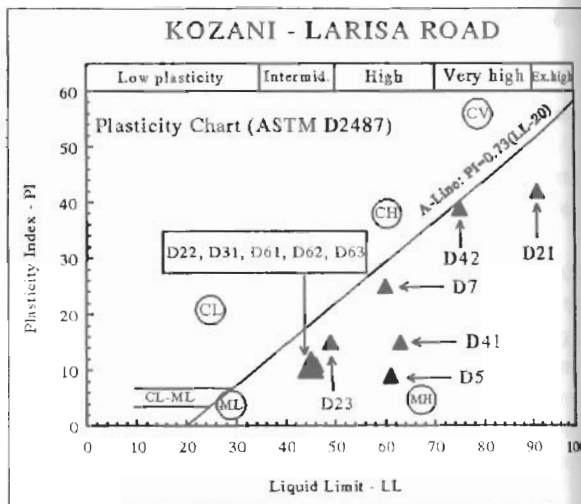
4. ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

4.1. Φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά των γεωλογικών σχηματισμών

Στην περιοχή μελέτης επικρατούν λιμναία πλειοκαινικά ιζήματα, που διαπιστώθηκε ότι αποτελούνται από α) αργίλους και αργιλούχες μάργες, υψηλής πλαστικότητας και μικρής ικανότητας σε αποστράγγιση, στις οποίες εύκολα προκαλούνται καθιζήσεις, β) ανοιχτόχρωμες χαλαρές αργιλομαργαίτες άμμοις, μέσης έως υψηλής διαπερατότητας και ικανότητας σε αποστράγγιση, γ) χαλαρά αμμοίχα χροκαλοπαγή, υψηλής διαπερατότητας, δ) συνενκτικές ινώδεις άμμοι και φαμίτες υψηλής διαπερατότητας και φέρουσας ικανότητας, ε) συμπιεγείς διατομίτες, συμπιεγείς μαργαίτες ασβεστόλιθους και στ) τεφρο-πράσινες μάργες μέτριας πλαστικότητας και μικρής διαπερατότητας. Πάνω στις πλειοκαινικές αποθέσεις αποτέθηκαν κατά θέσεις νεότερα, χαλαρά κυρίως εδαφικά υλικά ηλικίας ανώτερου Πλειοκαινού - Ολοκαινού, αποτελούμενα, κυρίως, από κόνιους χορημάτων διαφόρων γενεών, υλικά ποτάμιων αναβλαθιδών και σύγχρονες αλλοιψιακές προσχώσεις. Κατά το σεισμό της 13ης Μαΐου, παρατηρήθηκε ότι μεγάλο μέρος των ζυμιών έγινε σε οριζίες θεμελιωμένες επάνω στο χαλαρό εδαφικό μανδύα.

Τα αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων, που εκτελέσαμε (κατά ASTM, 1989), στους παραπάνω γεωλογικούς σχηματισμούς, αναφέρονται αναλυτικά στον Πίνακα 1.

Τα αργιλούλωδη μέλη των σχηματισμών της περιοχής (κυρίως μάργες) σε πρόσφατες τομές εμφανίζονται με υψηλά ποσοστά υγρασίας και αρχικά συνενκτικά, αλλά όταν αποξηραίνονται οι επιφάνειές τους παρουσιάζουν έναν μικροστρωματικό αποχωρισμό με αποτέλεσμα να αποσυντίθενται και να καταπίπτουν κυρίως λόγω βαρύτητας. Το φαινόμενο αυτό επιτείνεται από τις συχνές εναλλαγές υγρής και ξηρής περιόδου. Κατά την υγρή κυρίως περίοδο η έντονη επιφανειακή τους αποσάθρωση συντείνει στην αποσύνθεσή τους σε μικρά τεμάχια τα οποία με τη βοήθεια των απορροφώντων υδάτων μεταζινούνται προς κατάντη θέσεις. Στην παραπάνω διαδικασία συμβάλλουν τόσο η κοκκομετρική σύνθεση του υλικού που αποτελείται της είναι η αδυναμία του υλικού να αποστραγγίζεται εύκολα, όσο και η πλαστικότητα που συνδέεται με το ποσοστό της υγρασίας που απαιτείται για να μεταπέσει το υλικό από την ημιστερεή στη ρευστή κατάσταση (Εικόνα 2).



Εικόνα 2: Διάγραμμα πλαστικότητας των εδαφικών σχηματισμών

Figure 2: Plasticity chart of soil formations

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: Φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των σχηματισμών κατά μήκος της χάραξης της οδού Κοζάνης-Λαρίσας (Χιλ. θέσεις 0 έως 20 km). γ (t/m^3): φαινόμενο βάρος, $m(\%)$: φασική υγρασία, U: συντ. ομοιομορφίας, LL (%): όριο υδατότητας, PI: δείκτης πλαστικότητας, GI: δείκτης πλαστικότητας, ϕ ($^\circ$): γωνία εσωτερικής τριβής, Cc: δείκτης συμπύκνωσης, K (m/sec): συντ. διαπερατότητας, σ (MPa): αντοχή σε ανεμετάδοστη θλίψη.

TABLE 1: Physical & mechanical properties of the formations along Kozani-Larisa road (km 0 to 20). γ (t/m^3): unit weight, m (%): moisture, U: uniformity coefficient, LL (%): liquid limit, PI: plasticity index, GI: group index, ϕ ($^\circ$): angle of internal friction, Cc: compression index, K (m/sec): permeability coefficient, σ (MPa): unconfined compressive strength.

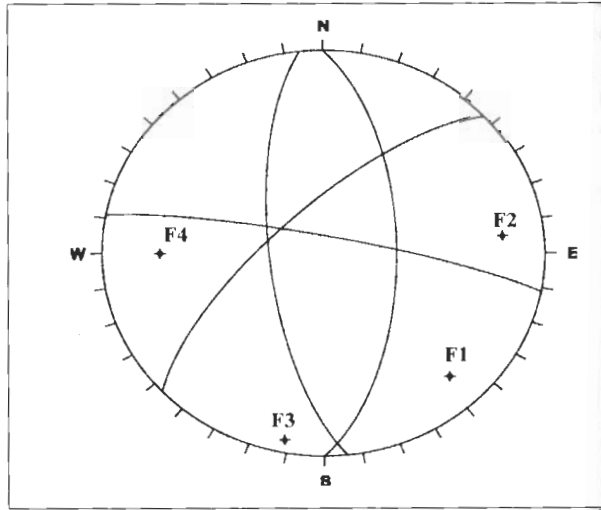
Δεγμά	Τοποθεσία ή Χιλιόμετ. Θέση (km)	Περιγραφή (USCS)	γ	m	U	LL	PI	GI	Cc	K	σ
D1	17	Ιαπόδης άμμος (SM)	2.13	16	8	46	22	0	0.324	$3 \cdot 10^{-5}$	
D2.1	19	Μάργα (ML)	1.84	33	2	91	42	37	0.729	$9 \cdot 10^{-8}$	26.5
D2.2	"	Μάργα (CL-ML)	1.86		13	45	12	12	0.315	10^{-8}	35
D2.3	"	Ιαπόδης άμμος (SM)	1.78	11	4	49	15	0	0.351	$2 \cdot 10^{-5}$	
D2.4	"	Αστυποργές	1.92	5	16					$6.3 \cdot 10^{-4}$	
D3.1	4.5	Αργιλόδης ίλιγς (CL-ML)		4	33	46	10	11	0.324	$1.6 \cdot 10^{-10}$	
D4.1		ΚΑΙΣΑΡΕΙΑ Συνεπτική Ιλιγς (ML)	1.62			63	15	15	0.477	10^{-8}	8.5
D4.2	"	Συνεπτική Ιλιγς (ML)	1.74	35	10	75	39	38	0.585	$8.1 \cdot 10^{-9}$	9.0
D5		ΚΑΡΥΔΙΤΣΑ Αργίλος (CH)		51	6	61	9	12	0.459	$9 \cdot 10^{-10}$	
D6.1		ΚΡΟΚΟΣ-ΑΝΘ ΚΩΜΗ Αργιλόδης ίλιγς (CL-ML)		22	70	46	9	10	0.324	$4 \cdot 10^{-10}$	
D6.2	"	Αργιλόδης ίλιγς (CL-ML)		22	94	44	11	11	0.306	$2.3 \cdot 10^{-10}$	
D6.3	"	Ιλιγς (ML)	1.72	18	47	45	12		0.315	$6.4 \cdot 10^{-8}$	
D7	ΚΟΖΑΝΗ	Ιαπόδης άργίλος (CL)	1.75	20	10	60	25	21	0.45	$3.6 \cdot 10^{-10}$	

4.2. Μηχανισμοί ολίσθησης κατά μήκος των τεχνητών πρανών

Οι πλειοκαινικοί σχηματισμοί εμφανίζονται ως συνεκτικά στρωσεγενή πετρώματα (μάζες, φαμίτες κ.λπ.) μικρής ή μεσαίας αντοχής. Σε ορισμένες θέσεις η γεωμετρία των νεοτεκτονικών ρηγμάτων που διατέμνουν τα συνεκτικά μέλη των παραπάνω σχηματισμών, σε σχέση με τις διευθύνσεις των τεχνητών πρανών που θα κατασκευαστούν, επιτείνουν τη διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω (καταπτώσεις, ολισθήσεις) και μπορούν να οδηγήσουν σε αποχωρισμούς και ολισθήσεις μεγάλων τεμαχίων (βραχοσφηνών).

Κατά μήκος της χάραξης οι μέγες κλίσεις των στρωμάτων που μετρήθηκαν είναι γενικά μικρές, με αποτέλεσμα να μην προκαλούνται σημαντικές ολισθήσεις στα πρανά λόγω του προσανατολισμού

της ορόφης. Οι τεκτονικές ασυνέχειες όμως παρουσιάζουν πολύ μεγαλύτερες κλίσεις και με βάση τις μετρήσεις ταξινομήθηκαν σε 5 διαφορετικά συστήματα. Αντίστοιχα οι επιφάνειες των ρηγμάτων που μετρήθηκαν στις ίδιες θέσεις ταξινομήθηκαν σε 4 κύρια συστήματα. Τα στοιχεία αυτών των συστημάτων δίνονται στην εικόνα 3 και στον Πίνακα 2. Για την ανάλυση του μηχανισμού ολίσθησης βραχοσφηνών στα πλειοκαινικά πετρώματα, κατασκευάστηκαν διαγράμματα στερεογραφικών προβολών τόσο των τεκτονικών στοιχείων όσο και των επιφανειών στρώσεων και δ/σεων των πρανών, στις οποίες με τη βοήθεια των test Markland (1972) και Hocking (1976) εκτιμήθηκαν οι ουνθήκες ευστάθειας των πρανών. Η ανάλυση αυτή επιλέχθηκε κυρίως λόγω της φύσης των σχηματισμών, η συμπεριφορά των οποίων στις συγκεκριμένες θέσεις καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τη γεωμετρία των ασυνεχειών. Αντίθετα, στα χαλαρά εδαφικά υλικά των πρόσφατων αποθέσεων, ο κυρίαρχος παράγοντας που καθορίζει την ευστάθειά τους είναι τα εδαφοτεχνικά χαρακτηριστικά τους.



Εικόνα 3: Διευθύνσεις ρηγμάτων κατά μήκος της χάραξης
Figure 3: Fault sets along the road design

Πίνακας 2. Κύρια συστήματα διακλάσεων και ρηγμάτων που εμφανίζονται στην περιοχή μελέτης.

TABLE 2. Main joint and fault sets of the study area.

kl_1	kl_2	kl_3	kl_4	kl_5
214°/67°	248°/65°	300°/88°	022°/85°	080°/82°
F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	
317°/72°	264°/70°	011°/83°	090°/63°	

4.3. Θέσεις τεχνικών έργων και τεχνητών πρανών

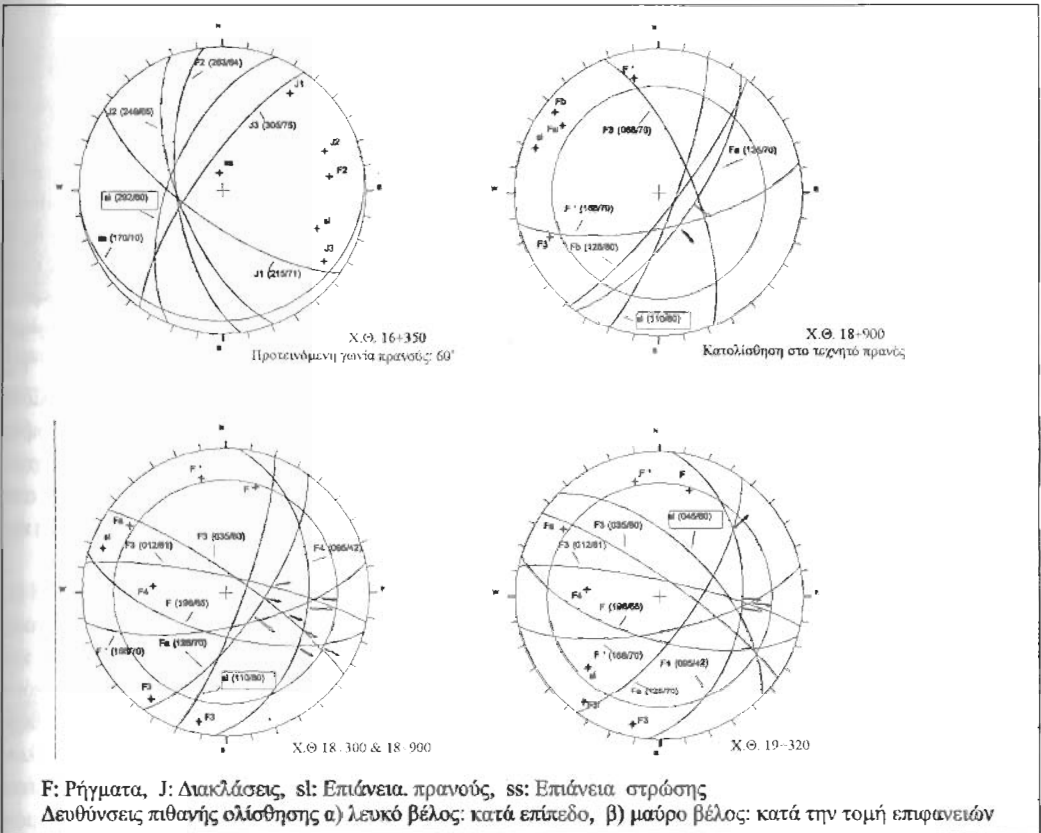
Κλμ. Θέση 2+303: Γέφυρα τριών ανοιγμάτων (υψόμετρο 634,5 m). Στη θέση αυτή το μορφολογικό είναι σμαλό με φυτοκάλυψη. Το γεωλογικό υπόβαθρο είναι κυρίως κώνου κορημάτων μικρού πάχους που επικαθόνται σε μεγάλου πάχους μάζες, άμμους και φαμίτες με κλίση 5°N.A. Δεν υπάρχουν εμφανή τεκτονικά στοιχεία, αλλά πολύ κοντά (~300 m βόρεια από τη θέση), δηλ. στα 2 km από την αφετηρία του δρόμου, υπάρχει μεγάλο σχετικά ρήγμα που το μήκος του είναι περίπου 5 km και ανιχνεύεται κυρίως από τις αεροφωτογραφίες. Πρόκειται για ρήγμα κανονικό με παράταξη ΒΑ (60°) και διεύθυνση κλίσης προς ΝΑ που σχεδόν ταυτίζεται με τη διεύθυνση των ενεργών ρηγμάτων της περιοχής (ρηξιγενής ρωσική Σερβίων - Ρημνίου - Παλαιοχωρίου) και των αντιστετικών τους. Το πάχος

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

των ζορημάτων που προσδιορίζει περίπου και το άλμα του ρήγματος υπολογίζεται στα 6 m αν και δεν αποκαλύπτεται από κάποια φυσική τομή. Το έργο εδράζεται στο βυθισμένο τμήμα του ρήγματος (hanging wall) και στη ζώνη διάρρηξης του και γι' αυτό θα έπρεπε στη μελέτη του έργου να εξεταστεί ιδιαίτερα η κινηματική του.

Χλμ. Θέσεις 15+120, 15+425, 15+538: Γέφυρα τριών ανοιγμάτων, Γέφυρα ρέματος, Γέφυρα ανισόπεδου κόμβου (Υψόμετρα: 318 m, 318 m, 319 m). Προέχεται για την κοίτη του ρέματος φτελιάς. Γεωλογικά, η περιοχή δομείται από επιφανειακές αλλουβιακές αποθέσεις (χοροάλες, άμμοι) αποθέσεις κοίτης καθώς και από το σύστημα των πλειοκαινικών μαργών, άμμων-ψαμμιτών της λεκάνης Κοζάνης-Σερβίων. Η κλίση των στρωμάτων είναι 5-12° ΝΑ. Και τα τρία τεχνικά έργα γειτνιάζουν με ορισμένα μικρά ρήγματα μικρού άλματος (5-20 cm) και παρατηρείται σύστημα διακλάσεων στις μάργες με την ίδια διεύθυνση. Το πλέον αξιοσημείωτο από τα ρήγματα αυτά βρίσκεται πολύ κοντά στη θέση 15+538 (γέφυρα ανισόπεδου κόμβου) με παράταξη Β20°, κλίση και μετάπτωση προς τα ΔΒΔ, και το οποίο στην αεροφωτογραφία εμφανίζεται να προεκτείνεται ΝΔ κατά μήκος της χάραξης στις θέσεις "Μπαμπακιές" και "Άγιος Νικόλαος" με συνολικό μήκος 4 km. Χρειάζεται να μελετηθεί περαιτέρω η παρουσία του στη θέση του τεχνικού και η πιθανότητα επίδρασής του σε αυτό.

Χλμ. Θέση 15+990: Οχετός - επίχωμα (υψόμετρο 335 m). Η περιοχή δομείται από μάργες-ψαμμίτες της λεκάνης Κοζάνης-Σερβίων. Η κλίση των στρωμάτων είναι 8-15° ΝΑ. Η θέση αυτή βρίσκεται ακριβώς στην πιθανή συνέχεια του ρήγματος που αναφέρθηκε προηγουμένως για τη θέση 15+538. Επιπλέον κοντά στη θέση αυτή παρατηρείται και μικρότερο ρήγμα διεύθυνσης κλίσης 170° και μετάπτωσης προς ΝΝΑ. Οι μάργες είναι έντονα τεκτονισμένες (συστήματα διακλάσεων: ΒΒΔ-ΝΝΑ και ΒΑ-ΝΔ).



Εικόνα 4: Προβλεπόμενες πιθανές αποτυχίες σε αντιπροσωπευτικές θέσεις τεχνικών πρσανών.

Figure 4: Probable failure mechanisms at representative locations of technical structures.

Χλμ. Θέσεις 16+350, 17+500: Οριγμα 14 m, Γέφυρα Χάνδαζα, υψόμετρο: 357 m, 300 m, μορφοανάλυφο: επιζιλινές, κοίτη ρέματος Αγίου Μάργου (Χάνδαζα). Η περιογή δομείται από μάργες και φαμίτες της λεκάνης Κοζάνης-Σερβίων. Η κλίση των στρωμάτων είναι 5-10° και τοπικά μέχρι 15° προς NNA. Οι θέσεις αυτές βρίζονται στην πιθανή συνέχεια του ρήγματος που αναφέθηκε προηγουμένως στη θέση 15+538. Στη θέση 16+350, όπου προβλέπεται να γίνει οριγμα ύψους 14m, το τεχνητό πρηνές θα έχει διεύθυνση κλίσης ΒΔ, περίπου 290°. Η επιφάνεια στρώσης των μαργών που συναντώνται στη θέση αυτή είναι 170°/10°. Τα συστήματα διακλάσεων που προσδιορίστηκαν είναι J1 (215°/71°), J2 (249°/65°) και J3 (305°/75°). Επίσης μετρήθηκε ρήγμα με στοιχεία F2 (263°/64°). Από τα tests Markland (1972) και Hocking (1976) βρέθηκε ότι μπορούν να προκληθούν ολισθήσεις είτε κατά τη διεύθυνση των γραμμών τομής τους είτε κατά τη διεύθυνση κλίσης των επιφανειών (Εικόνα 4α). Θεωρώντας ότι οι παραπάνω ολισθήσεις συνδέονται αποτελεσματικά με δυνάμεις βαρύτητας, μπορούν να αποφευχθούν με κατάλληλη κλίση της επιφάνειας του τεχνητού πρηνούς. Για τη συγκεκριμένη θέση η γεωμετρία των σιννεζιών (όπως προκύπτει από την ανάλυση ευστάθειας) δεν αναμένεται να προκαλέσει ολισθήσεις για γωνία κλίσης του τεχνητού πρηνούς μικρότερη από 60°.

Χλμ. Θέσεις 17+850, 18+050, 18+300, 18+900: Οριγμα 16,5 m. Επίζωμα 7 m. Οριγμα 9 m, Οριγμα 17 m (υψόμετρα: 325 m, 308 m, 322 m, 324 m, μορφοανάλυφο: έντονο). Η περιογή καλύπτεται από πλειστοκαινικές ποταμοχειμάρες αποθέσεις (άμμοι, άργιλοι και χαλαρά κροκαλοπηγή) σε επαφή με μάργες και λεπτόκοκκους φαμίτες. Η κλίση των στρωμάτων είναι 0-12° NA.

Θέση 17+850: Υπαρξη μικρορηγμάτων πολύ μικρού μήκους και άλματος τα περισσότερα κάθετα στην χάραξη του δρόμου που δεν επηρεάζουν τα τεχνικά. Αναμένονται πιθανές κυλινδρικές εδαφικές κινήσεις λόγω των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων του αργιλικού υλικού (μηδενική αποστράγγιση, υψηλή πλαστικότητα, μεγάλη συμπίεσιότητα).

Θέσεις 18+050, 18+300, 18+900: Υπαρξη σημαντικού ρήγματος με στοιχεία 120°-130°/60°-80°, μήκους ~2 km το οποίο διαμορφώνει το πρηνές κατά μήκος της χάραξης και παρουσιάζονται έντονα τα ερήματα στη ρηξινική ζώνη δημιουργώντας κλίσεις στρωμάτων 20-60° και τοπικά μέχρι πλήρη αναστροφή. Άλλα μικρότερα ρήματα άλματος 5-20 cm ή μεγα-διακλάσεις (ασυνέχτες ζωές εμφανείς μετατοπίσεις) 100°/42°, 095°/42°, 035°/80°, 012°/80°, 196°/65° και 168°/70°, δημιουργούν συνθήκες αστάθειας του τεχνητού πρηνούς στη θέση 18+300, ιδιαίτερα όμως στη θέση 18+900. Στη θέση αυτή 18+900 προβλέπεται να γίνει οριγμα ύψους 17m. Το τεχνητό πρηνές έχει διεύθυνση ~110° NA. Η ανάλυση ευστάθειας που έγινε, έδειξε ότι για τεχνητό πρηνές με γωνία κλίσης >25°, μπορούν να προκληθούν ολισθήσεις βραχοσφηνών ή καταπτώσεις μικρότερων τμημάτων που συζυγοτούν τις βραχοσφηνές, αφού η βραχομάζα εμφανίζεται κρηματισμένη εξαιτίας του τεκτονισμού και της αποσάθρωσης των υλικών. Στην εικόνα 4β φαίνεται η επιφάνεια του πρηνούς (με μεγάλη γωνία κλίσης >60°) όπως έχει ήδη κατασκευαστεί πριν από την εκπόνηση της παρούσας έρευνας και οι κύλκοι τομής που αντιστοιχούν στις ελάχιστες τιμές γωνίας τομής των υλικών του με βάση βιβλιογραφικά στοιχεία. Με βάση τα παραπάνω κρίθηκε σκόπιμη η λήψη μέτρων προστασίας που θα προσδιοριστούν από εξειδικευμένη μελέτη και θα αφορούν τη μεταβολή της γεωμετρίας του πρηνούς, την αποστράγγιση και πιθανή αντιστήριξη του.

Χλμ. Θέσεις 19+150, 19+320: Γέφυρα ενός ανοίγματος, Οριγμα 17 m (υψόμετρα: 302 m, 318 m, μορφοανάλυφο: έντονο). Οι θέσεις έδρασης των έργων δομούνται από πλειστοκαινικές ποταμοχειμάρες αποθέσεις (άμμοι, άργιλοι και χαλαρά κροκαλοπηγή) σε επαφή με μάργες και λεπτόκοκκους φαμίτες. Οι κλίσεις των στρωμάτων είναι 5-8° NA και στο NA άξονα γάμπονται αζώμη περισσότερο μέχρι 12°. Και οι δύο θέσεις επηρεάζονται ανάλογα από το ίδιο ρήγμα που αναφέθηκε προηγουμένως για τις θέσεις 18+050, 18+300, 18+900. Η ύπαρξη αυτού του ρήγματος καθώς και άλλων μικρότερων ρημάτων που παρατηρούνται μετά τη χλμ. θέση 18+300, πιθανόν να προκαλέσει ολισθήσεις και αστάθειες, ιδιαίτερα αν ληφθεί υπόψη η φύση του υλικού των αργιλικών σχηματισμών (μηδενική αποστράγγιση και υψηλή πλαστικότητα) (Εικόνα 4γ).

4.4. Η κατολίωση στη χλμ. θέση 18+900.

Μετά τη διάνοιξη του τεχνητού πρσανούς στην παραπάνω θέση όπως προέβλεπε η αρχική χάραξη της οδού, προεβλήθη μεγάλη σχετική κατολίωση του τεχνητού πρσανούς, η οποία είχε προβλεφθεί από την ανάλυση ευστάθειας του πρσανούς στη συγκεκριμένη θέση και αναφέρθηκε παραπάνω.

Η κατολίωση παρουσίασε γενική διεύθυνση κίνησης προς ANA και κατέλαβε ολό σχεδόν το χώρο του ενός τμήματος του κατασκευασζόμενου δρόμου (εικόνες 5 & 6). Το πρσανές αποτελείται από μάργες χαλιπτόμενες από εδαφική ζώνη μικρού πάχους. Το πρσανές διερευνήθηκε αρχικά ως προς τη δυνατότητα του να προζαλέσει εδαφικές κατολιθήσεις, όμως η πιθανότητα αυτή δεν επαληθεύθηκε υπολογιστικά. Η παρουσία ρηγμάτων και πυκνών κατατημητιζών συστημάτων στην περιοχή μας οδήγησε να εξετάσουμε την πιθανότητα εκδήλωσης αστοχιών συνδυασμένων βραχοσφηνών. Τελικά διαπιστώθηκε ότι η αστοχία του πρσανούς προεβλήθη από τις τομές των ρηγμάτων με στοιχεία $068^{\circ}/70^{\circ}$ - $168^{\circ}/70^{\circ}$. Το τμήμα που κατολιώθησε, οριοθετήθηκε, προς



Εικόνα 5: Η κατολίωση στη χλμ. 18+900

Figure 5: The landslide at km 18+900

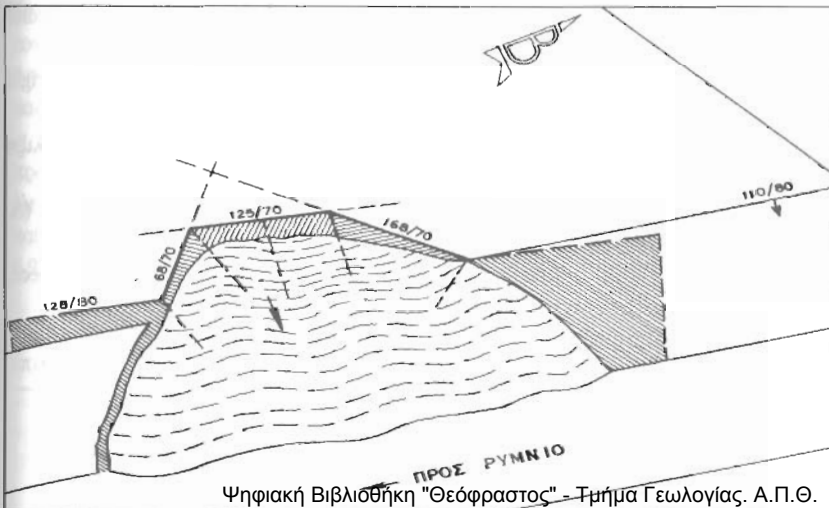


Εικόνα 6: Λεπτομέρεια της Εικ. 5

Figure 6: Detail of Fig. 5

τα κατάντη, από το ρήγμα Fa ($125^{\circ}/70^{\circ}$ εικόνα 4δ), η διεύθυνση κλίσης του οποίου περίπου συμπίπτει με τη διεύθυνση της τομής των δύο πρώτων ρηγμάτων. Τα στοιχεία αυτά, σε συνδυασμό και με τη γεωμετρία του τεχνητού πρσανούς, κινητοποίησαν το σχηματιζόμενο τμήμα προς ANA, σε διεύθυνση σχεδόν παράλληλη με τη διεύθυνση κλίσης του τεχνητού πρσανούς (Εικόνα 7).

Η παρουσία ζώνης ρήγματος με στοιχεία $128^{\circ}/80^{\circ}$, που τέμνει την κατολίωση, προζαλεί τη χαλάρωση του ολισθαίνοντος τμήματος και τη σημερινή εικόνα του πρσανούς.



Εικόνα 7:
Σκίτσο της
κατολιώθησης
στη χλμ. θέση
18+900

Figure 7:
Sketch of the
landslide at km
18+900

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Η χάραξη του υπό κατασκευή δρόμου Κοζάνης - γέφυρας Ρυμνίου διέρχεται σχεδόν στο σύνολό της από τα πλειο-πλειστοκαινικά λιμναία ιζήματα της λεκάνης Κοζάνης - Σερβίων και τοπικά από τις ανω-πλειστοκαινικές - ολοκαινικές αποθέσεις. Πρόκειται για ποταμολιμναιές αποθέσεις από λευκές μάργες και ερυθρές αργίλους σε εναλλαγές με στρώματα άμμου και αργιλικές ενστροφώσεις. Κατά θέσεις παρεμβάλλονται πολύ συνεκτικοί μαργαίτοι ασβεστόλιθοι (διατομίτες) και λεπτά λιγνιτικά στρώματα.

2. Στην περιοχή της χάραξης παρατηρούνται κανονικά ρήγματα με διεθνήσεις κυρίως **BA-NA** και **BBA-NNA**. Η κυριότερη διεύθυνση όμως των πιο νέων ρηγμάτων, που είναι και αυτά τα οποία τέμνουν κυρίως τη χάραξη, είναι **BA-NA**. Οριοιμένα από τα ρήγματα αυτά διέρχονται από τις θέσεις των προβλεπόμενων τεχνικών έργων. Συνήθως το άλμα τους είναι μικρό 0-1 m και σπανιότερα φθάνει τα 6 m.

3. Η περιοχή δομείται κυρίως από ετερόμορφα λεπτόκοκκα υλικά μέσης έως υψηλής πλαστικότητας, μεγάλης συμπιεστότητας και μικρής διαπερατότητας. Το κύριο πρόβλημά τους δεν ήταν οι τιμές μηχανικής αντοχής, αλλά η παραμορφωσιμότητα, η αποστραγγιστική τους ικανότητα και η συμπιεστότητά τους. Τα εδάφη αυτά, ως υλικά κατασκευής των επιχωμάτων, σε στατική και δυναμική φόρτιση, μπορεί να παρουσιάσουν καθιζήσεις με αποτέλεσμα να προκληθούν σημαντικές παραμορφώσεις στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Για τη μείωση της συμπιεστότητας και άρα των καθιζήσεων που μπορεί να προκληθούν στα εδαφικά υλικά των επιχωμάτων, είναι αναγκαία η βέλτιστη συμπύκνωση, σταθεροποίηση και αποστράγγιση των επιχωμάτων πριν την κατασκευή του δρόμου.

4. Σε ορισμένες χιλιμετρικές θέσεις τα τεχνητά φράνη έχουν ύψος >10m και οι υπόλοιπες ασυνέχειες επιβάλλουν την κατασκευή τους με κατάλληλες γλίσσες ώστε να αποφευχθούν ανεπιθύμητες αστοχίες.

5. Η ποιότητα των εδαφικών σχηματισμών και η γενική τεκτονική δομή της περιοχής της χάραξης δεν επέτρεπε να δημιουργήσουν απαγορευτικές συνθήκες για την κατασκευή του δρόμου, εφόσον είχαν ληφθεί υπόψη οι παρατηρήσεις που εκτέθηκαν αναλυτικά παραπάνω. Η περίπτωση όμως της κατολίθωσης στη θέση 18+900, έδειξε ότι η συστηματική και λεπτομερής έρευνα μπορεί να συμβάλει στο σωστό σχεδιασμό τέτοιων έργων, ο οποίος με τη σειρά του μπορεί να ελαχιστοποιήσει το κόστος της εκ των υστέρων αντιμετώπισης των προβλημάτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ASTM (1989). Annual book of ASTM Standards. Sec. 4 Constr., Vol. 04.08, 997 pp., Soil & Rock Building Stones, Geotextiles, Phil.
- HOCKING, G. (1976). A method for distinguishing between single and double plane sliding of tetrahedral wedges. *Int. J. Rock Mech. & Mining Sci.*, 13, pp. 225-226.
- MARKLAND, J.T. (1972). A useful technique for estimating the stability of rock slopes when the rigid wedge sliding type of failure is expected. *Imp. Coll. Rock Mech. Res. Rep.*, 19, pp. 1-10.
- ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ, Δ. (1983). Η γεωλογική δομή της Β. Πελαγονικής ζώνης και η γεωτεκτονική εξέλιξη των εσωτερικών Ελληνίδων. Πραγματεία για Υψηλότητα 283 σελ., Παν/μιο Θεσ/νίκης.
- ΠΑΥΛΙΔΗΣ, Σ. (1985). Νεοτεκτονική εξέλιξη της λεκάνης Φλώρινας-Βεροσιτιάδας-Πτολεμαΐδας (Δ. Μακεδονία). Διδ. Διατρ. 265 σελ., Παν/μιο Θεσ/νίκης.
- PAVLIDES, S. & MOUNTRAKIS, D. (1987). Extensional tectonics of northwestern Macedonia, Greece, since the late Miocene. *J. Struct. Geol.* 9,4, pp. 385-392.
- USAEC (1953). The Unified Soil Classification system. U.S. Army Eng. Waterw. Exp. Stn., Tech. Memo. No. 3-357, Vol. 1, 30 pp.